

Kritik an der Relativitätstheorie

Kritik an der Relativitätstheorie wurde vor allem in den Jahren nach ihrer Veröffentlichung auf wissenschaftlicher, philosophischer, pseudowissenschaftlicher sowie ideologischer Ebene geäußert. Gründe für die Kritik waren eigene Alternativtheorien, Widersprüche zu vorhandenen Theorien, Ablehnung der abstrakt-mathematischen Methode, Unverständnis und angebliche Fehler in der Theorie. Einige der ideologischen Kritiken wurden durch Antisemitismus motiviert. Auch heute noch gibt es Kritiker der Relativitätstheorie, die auch als *Antirelativisten* bezeichnet werden. Ihre Ansichten werden in der wissenschaftlichen Fachwelt jedoch nicht ernst genommen, da die Relativitätstheorie als widerspruchsfrei eingestuft wird und viele experimentelle Bestätigungen vorliegen.

Anmerkung: Dieser Artikel setzt grundlegende Kenntnisse der Relativitätstheorie voraus. Für historische Information siehe [Geschichte der speziellen Relativitätstheorie](#).

Inhaltsverzeichnis

[Verbergen]

- 1 Spezielle Relativitätstheorie
 - 1.1 Relativitätsprinzip contra elektromagnetisches Weltbild
 - 1.2 Experimentelle „Widerlegungen“
 - 1.3 Beschleunigung in der speziellen Relativitätstheorie
 - 1.4 Überlichtgeschwindigkeit
 - 1.5 Paradoxien
 - 1.6 Äther und absoluter Raum
 - 1.7 Alternative Theorien
- 2 Allgemeine Relativitätstheorie
 - 2.1 Allgemeine Kovarianz
 - 2.2 Die Bad-Nauheim-Debatte
 - 2.3 Silberstein-Einstein-Kontroverse
- 3 Philosophische Kritik
 - 3.1 Kantianismus, Phänomenologie
 - 3.2 Konventionalismus, Protophysik
 - 3.3 Weitere philosophische Kritiken
- 4 Relativitätsrummel und öffentliche Kritik
 - 4.1 Akademische und außerakademische Kritik
 - 4.2 Chauvinismus und Antisemitismus
 - 4.3 Plagiatsvorwürfe bzw. Prioritätsdiskussionen
 - 4.4 Hundert Autoren gegen Einstein
- 5 Status der Kritik
- 6 Literatur
 - 6.1 Historische Analysen
 - 6.2 Relativitätstheoretische Arbeiten
 - 6.3 Kritische Arbeiten
- 7 Weblinks

Spezielle Relativitätstheorie [\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)

Relativitätsprinzip contra elektromagnetisches Weltbild [\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)

Vor allem durch die Arbeiten von [Joseph Larmor](#) (1897) und [Wilhelm Wien](#) (1900) war die Ansicht weit verbreitet, dass sämtliche Kräfte in der Natur [elektromagnetischen](#) Ursprungs seien („elektromagnetisches Weltbild“). Dies wurde durch die Experimente von [Walter Kaufmann](#) (1901–1903) bestätigt. Kaufmann maß eine Zunahme der Masse mit der Geschwindigkeit annähernd so, wie sie sich ergibt, wenn die Masse vollständig durch die elektromagnetische Energie bestimmt ist. [Max Abraham](#) (1902) entwarf nun eine theoretische Interpretation der Kaufmannschen Resultate, in welcher das Elektron fälschlicherweise als starr und kugelförmig definiert wurde. Es zeigte sich jedoch, dass dieses Modell mit der von [Henri Poincaré](#) (1902) als [Relativitätsprinzip](#) bezeichneten Annahme unverträglich war, wonach eine „absolute“ Bewegung eines Beobachters relativ zum [Äther](#) („Ätherwind“) unauffindbar sein sollte. Deswegen hatte [Hendrik Antoon Lorentz](#) (1904) ein Modell ([Lorentzsche Äthertheorie](#)) geschaffen, welches das Relativitätsprinzip weitgehend erfüllte, in Übereinstimmung mit den Kaufmannschen Versuchen war, und auf einen ruhenden Äther basierte. Im Gegensatz zur Theorie Abrahams ist hier das Elektron einer Verkürzung in Bewegungsrichtung unterworfen ([Lorentzkontraktion](#)) und die Zeitkoordinaten, die von im Äther bewegten Beobachter benutzt werden, sind von ihrem jeweiligen Ort abhängig ([Ortszeit](#)). Beide Effekte sind in der sogenannten [Lorentz-Transformation](#) enthalten.

Abraham (1904) wandte dagegen ein, dass a) bei einer Lorentzkontraktion nicht-elektromagnetische Kräfte erforderlich sind, um die Stabilität der Elektronen zu garantieren, was für Vertreter des elektromagnetischen Weltbildes unannehmbar war. Und b) zweifelte Abraham fälschlicherweise daran, ob ein solches, dem Relativitätsprinzip gehorchendes Modell überhaupt widerspruchsfrei formuliert werden konnte. Poincaré (1905) konnte jedoch zeigen, dass b) sehr wohl mit dem Relativitätsprinzip und einer modifizierten lorentzischen Theorie vereinbar waren. Poincaré blieb zwar weiterhin der Meinung, dass die Masse ausschließlich elektromagnetischen Ursprungs sei, jedoch definierte er formal ein nicht-elektromagnetisches Potential (die sogenannten „Poincaré-Spannungen“), welche den Lorentztransformationen unterworfen sind und die Stabilität der Elektronen mit angenommener Geometrie garantierten. Das elektromagnetische Weltbild wurde folglich zugunsten des Relativitätsprinzips aufgegeben. Diese Entwicklung entsprach auch der von [Albert Einstein](#) 1905 eingeführten [speziellen Relativitätstheorie](#), in der die Lorentz-Transformation aus zwei Postulaten, nämlich dem Relativitätsprinzip und der Lichtkonstanz, hergeleitet wird. Diese Theorie betrifft die Natur von Raum und Zeit selbst, und beschränkt sich nicht nur auf elektromagnetische Effekte. [\[A 1\]\[A 2\]\[A 3\]\[A 4\]\[B 1\]\[B 2\]\[C 1\]](#)

Experimentelle „Widerlegungen“ [\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)

Wie geschildert waren die Messungen Kaufmanns (1901–1903) sowohl mit der abrahamschen als auch der lorentzischen Theorie vereinbar. Um eine Entscheidung zwischen den Theorien herbeizuführen, führte er 1905 eine noch präzisere Serie von Experimenten durch. Inzwischen hatte sich jedoch die theoretische Situation geändert. [Alfred Bucherer](#) und [Paul Langevin](#) (1904) hatten ein weiteres Konkurrenzmodell entwickelt, wonach das Elektron einerseits kontrahiert, jedoch senkrecht dazu expandiert und somit das Volumen konstant bleibt. Und während Kaufmann noch die Ergebnisse seiner Messungen auswertete veröffentlichte [Albert Einstein](#) im September 1905 die [Spezielle Relativitätstheorie](#) (SRT), die auf einer radikal neuen Auffassung des Relativitätsprinzips beruhte, wonach der Äther überhaupt nicht existiert und Raum und Zeit relativ sind. Was die experimentellen Vorhersagen betrifft, war die Theorie jedoch äquivalent mit der Äthertheorie von Lorentz und Poincaré. Kaufmanns Ergebnisse schienen nun die Theorie Abrahams und in einem geringeren Ausmaß das Bucherer-Langevin-Modell zu bestätigen und sprachen sehr stark gegen die Theorien von Lorentz und Einstein. Kaufmann zog daraus den Schluss, dass die „lorentz-einsteinsche“ Grundannahme, nämlich das Relativitätsprinzip, widerlegt sei. Lorentz reagierte darauf mit dem Ausspruch, „am Ende seines Lateins“ zu sein, während Einstein die Ergebnisse vorerst nicht kommentierte. Andere begannen jedoch, die Ergebnisse im Detail zu kritisieren. [Max Planck](#) (1906) verwies auf Unstimmigkeiten in der

theoretischen Interpretation der Daten und [Adolf Bestelmeyer](#) (1906) führte neue Techniken ein, welche besonders im Bereich geringerer Geschwindigkeit andere Ergebnisse als Kaufmann lieferten, und Zweifel an Kaufmanns Methoden aufkommen ließen.

Bucherer (1908) führte deswegen neue Experimente durch und kam zum Schluss, das „Lorentz-einsteinsche Relativitätsprinzip“ bestätigt zu haben, was von Lorentz, Poincaré und Einstein mit Erleichterung und Zufriedenheit registriert wurde. Aber auch hier kamen (vor allem durch Bestelmeyer) Zweifel an der Methode auf. Weitere Experimente von Hupka (1910), Neumann (1914) und anderen schienen diese Zweifel an der Experimentalergebnissen ausgeräumt zu haben. Spätere Untersuchungen (1938) ergaben jedoch, dass die Durchführung der Kaufmann-Bucherer-Neumann Experimente von einem modernen Standpunkt aus ungenügend gewesen seien, und erst 1940 konnten bei entsprechenden Experimenten die letzten Zweifel an der Richtigkeit der Lorentz-Einstein-Formel ausgeräumt werden. (Diese Problematik betraf jedoch nur diese Form der Experimente. Bei Untersuchungen zur Theorie der Spektren konnte die Massenveränderlichkeit gemäß der Lorentz-Einstein-Formel schon ab 1917 sehr genau bestätigt werden. Und in modernen Teilchenbeschleunigern ist die Bestätigung der relativistischen Vorhersagen für Energie bzw. Masse schnell bewegter Teilchen bereits Routine.)^{[A 5][A 1][A 6][B 3][B 4][B 5][C 2]}

Diskutiert wurden danach auch die Experimente von [Dayton C. Miller](#). Dieser war dafür bekannt, dass er 1902–1906 zusammen mit [Edward W. Morley](#) eine Serie von Wiederholungen des [Michelson-Morley-Experiments](#) durchführte, welche im Rahmen der Messgenauigkeit das negative Resultat des ursprünglichen Experiments bestätigten. 1921–1926 führte Miller jedoch Versuche durch, welche scheinbar *positive* Ergebnisse lieferten, und folglich die spezielle Relativitätstheorie widerlegt bzw. die Existenz eines Äthers in irgendeiner Form bewiesen hätten. Millers Experimente sorgten für einiges Aufsehen, wurden jedoch in der Fachwelt nicht sonderlich ernst genommen, wie z. B. Einsteins humoriger Kommentar („Raffiniert ist der Herrgott, aber boshaft ist er nicht.“) zeigt. So kritisierten sowohl Einstein und später auch Shankland, dass Miller den Einfluss der Temperatur nicht ausreichend berücksichtigt hätte. Und in einer moderneren Analyse durch Roberts wird darauf hingewiesen, dass Miller bei der Auswertung der Daten (auch aufgrund der technischen Mängel seiner Zeit) signifikante Fehler unterlaufen sind, und deren Beseitigung würde ein [Nullresultat](#) ergeben. Weiters stand dieses angeblich positive Ergebnis nicht nur im Widerspruch zu den älteren Experimenten, sondern sie konnten bei den weiteren Versuchen jener Zeit nicht reproduziert werden. So verwendete [Georg Joos](#) 1930 eine Anordnung von ähnlichen Ausmaßen wie bei Miller, und erzielte ein negatives Ergebnis. Doch nicht nur deswegen spielen Millers Ergebnisse heute keine Rolle mehr: Durch Verwendung von [Laser](#) bzw. [Maser](#) konnte in modernen Varianten des MM-Experiments die effektive Weglänge der Lichtstrahlen erheblich vergrößert werden – die Ergebnisse waren und sind allesamt negativ.^{[A 7][B 6][C 3]}

Beschleunigung in der speziellen Relativitätstheorie^{[[Bearbeiten](#) | [Quelltext bearbeiten](#)]}

Ein weiterer Einwand gegen die Relativitätstheorie war die Frage, ob im Rahmen der speziellen Relativitätstheorie Beschleunigungen behandelt werden können bzw. wie dies mit dem Konzept des [starren Körpers](#) zu vereinbaren ist. [Max Born](#) (1909) entwickelte nun ein Modell, worin die beschleunigte Bewegung von starren Körpern berücksichtigt wurde. Dies führte auf ein von [Paul Ehrenfest](#) aufgezeigtes Paradoxon: Aufgrund der Lorentzkontraktion würde sich der Umfang eines rotierenden starren Körpers (einer Scheibe) verringern, während der Radius gleich bliebe ([Ehrenfestsches Paradoxon](#)). [Max von Laue](#) (1911) zeigte jedoch, dass aufgrund der Endlichkeit der Signalausbreitung in Körpern ein starrer Körper in der speziellen Relativitätstheorie unmöglich ist, d. h., wird ein Körper in Rotation versetzt, käme es sofort zu entsprechenden Deformationen. Auch für Einstein war ein ähnliches Gedankenexperiment bei seiner Formulierung der allgemeinen Relativitätstheorie (ART) von Bedeutung, denn er berechnete, dass für einen mitrotierenden Beobachter der Raum eine nichteuklidische Geometrie annimmt.^{[B 7][B 8][C 4]}

Ein anderes Beispiel war der [Sagnac-Effekt](#). Hier werden zwei Signale in entgegengesetzter Richtung ausgesendet, um dann wieder zurückzukehren. Wird die Anordnung in Rotation

versetzt, kommt es zu Verschiebungen der Interferenzstreifen. [Georges Sagnac](#) (1913) glaubte damit die Existenz des Lichtäthers bewiesen zu haben. Jedoch bereits vorher (1911) konnte Laue die Theorie für diesen Versuch im Rahmen der speziellen Relativitätstheorie geben – entsprechende Erklärungen für spezielle und allgemeine Relativitätstheorie wurden später auch von [Paul Langevin](#) (1921, 1937) gegeben. Für einen nicht mitbewegten Beobachter ist das Ergebnis eine selbstverständliche Folge der Unabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit von der Bewegung der Quelle. Für einen mitbewegten Beobachter ist sie Folge der Beschleunigung während der Rotation, wie es sich auch in der klassischen Mechanik ergibt, z. B. beim [Foucaultschen Pendel](#). Dies hängt damit zusammen, dass in beschleunigten Bezugssystemen die Uhren ihre Synchronisation verlieren, und die gemessene Lichtgeschwindigkeit nicht mehr konstant ist. [\[B 9\]\[B 10\]\[C 5\]](#)

Wie Langevin (1911) und Laue (1913) zeigten, entspricht auch das häufig gegen die spezielle Relativitätstheorie eingewendete [Zwillingsparadoxon](#) (oder Uhrenparadoxon) diesem Erklärungsschema: Wenn zwei Beobachter sich voneinander entfernen, und einer von ihnen beschleunigt wird bzw. sein [Inertialsystem](#) verlässt, um zum anderen zurückzukehren, wird der beschleunigte Beobachter beim Zusammentreffen jünger sein als der, welcher die ganze Zeit in seinem Inertialsystem ruhte. Es ist daher durchaus möglich, beschleunigte Bewegungen im Rahmen der speziellen Relativitätstheorie zu beschreiben, sofern die Komplikationen beim Wechsel der Inertialsysteme sorgfältig berücksichtigt werden. Während also bei der Beschreibung physikalischer Vorgänge Beobachter in verschiedenen Inertialsystemen nach der Relativitätstheorie vollkommen gleichberechtigt sind, gilt dies für beschleunigte Bewegungen nicht mehr. [\[B 11\]\[B 9\]](#)

Wie Einstein jedoch 1908 zeigte, bildet die Gravitation eine Ausnahme. Während Poincaré, Abraham und andere zwar zeigten, dass die Gravitation prinzipiell auch mit Methoden der speziellen Relativitätstheorie modifiziert werden könnte, waren diese Methoden nach Einstein unvereinbar mit dem [Äquivalenzprinzip](#) von träger und schwerer Masse, wonach alle Körper gleich schnell zu Boden fallen. Einstein zeigte sich ebenfalls unzufrieden mit einem anderen Merkmal der speziellen Relativitätstheorie: der Bevorzugung von Inertialsystemen gegenüber beschleunigten Systemen. Bei der Ausarbeitung seiner Gravitationstheorie, welche dies alles berücksichtigt, musste Einstein das in der speziellen Relativitätstheorie noch vorhandene Bild eines [euklidischen Raums](#) durch eine [Nichteuklidische Geometrie](#) ersetzen und sich die dies formulierende [Riemannsche Geometrie](#)aneignen, bevor er 1915 die [Allgemeine Relativitätstheorie](#) abschließen konnte. Eine Folgerung, die Einstein schon 1908 und 1911 zog, war die Ablenkung von Lichtstrahlen im Schwerfeld bzw. in beschleunigten Bezugssystemen. Diese Ablenkung und die damit verbundene Verzögerung in der Ausbreitung wurde von Einstein als ein Abgehen von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum bezeichnet. Abraham (1912) wendete dagegen, dass Einstein mit seinem Abgehen von der Lichtkonstanz der speziellen Relativitätstheorie den „Gnadenstoß“ versetzt hätte. Einstein (1912) antwortete darauf, dass die spezielle Relativitätstheorie ebenso Grenzen der Gültigkeit besäße wie andere physikalische Theorien (wie die [Thermodynamik](#) als Grenzfall mikroskopischer Modelle der statistischen Mechanik, z. B. in der Theorie der [Brownschen Bewegung](#)). Jedoch ist sie weiterhin lokal auch in seiner Gravitationstheorie gültig und kann bei relativ schwachen Gravitationsfeldern (also praktisch in den meisten Fällen) weiterhin mit großer Genauigkeit verwendet werden. Um dies genauer auszuführen: In der speziellen Relativitätstheorie ist die Lichtgeschwindigkeit in Inertialsystemen konstant, nicht jedoch in beschleunigten Systemen (wie bereits anhand des Sagnac-Effekts ausgeführt). In der allgemeinen Relativitätstheorie ist sie lokal konstant, jedoch bei ausgedehnten Gebieten beeinflusst die von einer Gravitationsquelle verursachte Raumzeitkrümmung die Eigenschaften von Maßstäben und Uhren sowie die Ausbreitung des Lichtes, was z. B. zur [Shapiro-Verzögerung](#)führt. [\[A 5\]\[A 1\]\[A 8\]\[A 2\]\[B 12\]\[B 13\]\[B 14\]\[C 6\]](#)

Überlichtgeschwindigkeit [\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)]

In der speziellen Relativitätstheorie ist die Übertragung von Signalen mit [Überlichtgeschwindigkeit](#) ausgeschlossen. Sie würden zu Verletzungen der [Kausalität](#) führen. Einem Argument von [Pierre-Simon Laplace](#) folgend, wies Poincaré im Jahr 1904 darauf hin, dass die [newtonsche Gravitationstheorie](#) auf einer unendlich schnellen,

oder zumindest sehr viel schnelleren Ausbreitungsgeschwindigkeit der Gravitation als beruhen müsste. Andernfalls würden die Planeten durch die [Aberration der Gravitation](#) auf einer Spiralbahn in die Sonne stürzen. Bereits im folgenden Jahr zeigte er, dass es dennoch möglich ist, ein Gravitationsgesetz zu formulieren, in dem sich die Gravitation mit der

Geschwindigkeit ausbreitet und welches als Grenzfall für kleine Abstände das newtonsche Gravitationsgesetz ergibt. Unter diesen Umständen bleibt die Bahn von Planeten stabil. Die [Allgemeine Relativitätstheorie](#) erfüllt diese Bedingung. ^{[C 7][B 2][B 15]}

Ein anderer scheinbarer Widerspruch zur Lichtkonstanz ist die Tatsache, dass

in [dispergierenden](#) Medien die [Gruppengeschwindigkeit](#) größer als sein kann. Dies wurde von [Arnold Sommerfeld](#) (1907, 1914) und [Léon Brillouin](#) (1914) untersucht, wobei sie zur Feststellung kamen, dass in solchen Fällen die [Signalgeschwindigkeit](#) nicht mehr der Gruppengeschwindigkeit entspricht, sondern der Geschwindigkeit des Signalanfangs (der Frontgeschwindigkeit), welche niemals c übersteigt. Analog dazu werden die Ergebnisse des sogenannten „[superluminalen Tunnelns](#)“ durch [Günter Nimtz](#) von der Fachwelt als mit der speziellen Relativitätstheorie verträglich eingestuft, sofern wie oben besprochen eine sorgfältige Berücksichtigung der Geschwindigkeitsdefinition erfolgt. ^{[B 16][B 17][A 5][B 18]}

Auch die [Quantenverschränkung](#) (von Einstein etwas missverständlich als „spukhafte Fernwirkung“ bezeichnet) wurde zum Teil als ein scheinbar überlichtschnelles Phänomen aufgefasst. Danach können verschränkte Teilchen, unabhängig von ihrer Entfernung voneinander, nicht mehr als einzelne Teilchen mit definierten Zuständen beschrieben werden, sondern nur noch das Gesamtsystem. Nun wird durch die Messung des Zustandes eines Teilchens auch der Zustand des anderen Teilchens festgelegt, in welcher Entfernung sich jenes auch befindet. Dieses Phänomen kann aufgrund der Zufälligkeit der Messergebnisse allerdings nicht direkt zur Informationsübertragung genutzt werden, sondern es muss wie bei der [Quantenteleportation](#) die Information auf klassischer (und somit konform zur speziellen Relativitätstheorie) Weise übertragen werden. ^[A 9]

Paradoxien[\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)]

Unzureichende Kenntnis der Grundlagen der speziellen Relativitätstheorie, insbesondere der Anwendung der Lorentz-Transformation im Zusammenhang mit [Längenkontraktion](#) und [Zeitdilatation](#) führte (und führt immer noch) zur Aufstellung verschiedener scheinbarer [Paradoxien](#). Sowohl das [Zwillingsparadoxon](#) als auch das [Ehrenfestsche Paradoxon](#) und ihre Erklärung wurden oben bereits erwähnt. Neben dem Zwillingsparadoxon führte auch die Symmetrie der Zeitdilatation (d. h. dass gemäß spezieller Relativitätstheorie jeder Beobachter die Uhr des jeweils anderen langsamer gehend registriert als seine eigene) besonders bei [Herbert Dingle](#) zu heftiger Kritik, die sich in Briefen an Wissenschaftszeitschriften wie [Nature](#) ab Ende der 1950er Jahre entlud. Aber auch die Widerspruchsfreiheit der Symmetrie der Zeitdilatation kann, wie schon lange vor Dingles Kritik von Lorentz (1910) gezeigt wurde, durch Beachtung der jeweiligen Messvorschriften und der [Relativität der Gleichzeitigkeit](#) leicht demonstriert werden. Andere bekannte Paradoxien sind [Paradoxien der Längenkontraktion](#) und das [Bellsche Raumschiffparadoxon](#), welche sich ebenso unter Berücksichtigung der Relativität der Gleichzeitigkeit erklären lassen. ^{[A 1][A 10][A 11][C 8]}

Äther und absoluter Raum[\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)]

Bei einigen Physikern herrschte eine gewisse Unsicherheit vor allem im Zusammenhang mit der Frage vor, ob nicht doch ein Äther benötigt wird, um die auf den ersten Blick paradoxe Konstanz der Lichtgeschwindigkeit in allen Inertialsystemen „dynamisch“ zu erklären. Beispielsweise blieben Lorentz, Poincaré, Larmor, [Oliver Lodge](#) (1925), [Albert A. Michelson](#) (1927), [Herbert E. Ives](#) (1951), [Simon Jacques Prokhovnik](#) (1963) bei der Vorstellung eines Äthers bzw. eines bevorzugten Bezugssystems. Verschiedene Mathematiker und Physiker wie [Harry Bateman](#), [Ebenezer Cunningham](#), [Edmund Taylor Whittaker](#) in England, oder [Charles Émile Picard](#), [Paul Painlevé](#) in Frankreich, verwendeten in ihren ersten Darstellungen zur speziellen bzw. allgemeinen Relativitätstheorie ebenso den

Äther bzw. ein bevorzugtes Bezugssystem. Dies stand im Zusammenhang mit der Frage, inwiefern die [Lorentzsche Äthertheorie](#) (mit einem ruhenden Äther als bevorzugtem, jedoch unentdeckbarem Bezugssystem, in dem eine absolute Zeit und ein absoluter Raum existiert) von der speziellen Relativitätstheorie Einsteins (wo alle diese Dinge keine Bedeutung mehr haben) abzugrenzen sei. Denn in beiden Theorien wird die Lorentz-Transformation verwendet, wodurch sie experimentell nicht unterscheidbar sind. So betonte selbst Planck (1906) – als der wichtigste Förderer der speziellen Relativitätstheorie in den Anfangsjahren – dass Einsteins Arbeit eine Verallgemeinerung der Lorentzschen Theorie sei („Lorentz-Einstein-Theorie“). Auch führten Missverständnisse bezüglich des Ehrenfest'schen Paradoxons bei manchen Physikern wie [Vladimir Varicak](#) zum Glauben, dass die Längenkontraktion in der speziellen Relativitätstheorie bloß „scheinbar“ sei, im Gegensatz zur „realen“ bei Lorentz. Einstein musste 1910 noch einmal klarstellen, dass die Längenkontraktion auch in der speziellen Relativitätstheorie als messbares Phänomen durchaus real ist. Jedoch die Idee, dass der Äther einerseits die Stellung eines bevorzugten Bezugssystems mit einem absoluten Raum und einer absoluten Zeit einnimmt, und andererseits dieses System durch ein Zusammenspiel verschiedener Effekte völlig unentdeckbar sein soll, stieß bereits von Anfang an auf Skepsis. Und so war es eine neue Generation von Physikern wie Einstein, Laue, Born, Ehrenfest usw., welche nachdrücklich darauf hinwiesen, dass in der speziellen Relativitätstheorie – als eine völlig neue Betrachtungsweise von Raum und Zeit – für einen Äther im klassischen Sinne kein Platz mehr war. [\[A 11\]\[A 6\]\[A 12\]\[A 8\]\[B 19\]\[B 20\]\[B 21\]\[C 9\]\[C 10\]\[C 11\]\[C 12\]](#)

Daneben benutzte auch Einstein in semipopulären Vorträgen das Wort Äther, um darauf hinzuweisen, dass auch in der speziellen Relativitätstheorie die Raumzeit eine von der Materie unabhängige, „absolute“ Existenz hat. Und aufgrund der Unanwendbarkeit des [Machschen Prinzips](#) sei der Begriff Äther auch in der allgemeinen Relativitätstheorie noch anwendbar – jedoch ist hier die Raumzeit auch von der Materie beeinflussbar, somit könne dieser Äther nicht mehr als absolut bezeichnet werden. Jedoch hat dieser Begriff, wie Einstein hervorhob, mit dem klassischen Äther aufgrund des Fehlens eines Bewegungszustandes praktisch keine Übereinstimmung mehr. Diese Terminologie wurde deswegen später von der Fachwelt (und auch von Einstein selbst) nicht übernommen. Ebenso konnte sich der (allerdings nur in Ansätzen vorliegende) Versuch [Paul Diracs](#) (1953), das [Quantenvakuum](#) in die Nähe eines mit einem Bewegungszustand ausgestatteten Äthers zu rücken, nicht durchsetzen. [George F. Smoot](#) (2006) erklärte, dass das Bezugssystem, in dem die [kosmische Mikrowellenstrahlung](#) isotrop ist, als Äther bezeichnet werden könnte („Neue Ätherdrift Experimente“). Smoot stellte jedoch klar, dass hier kein Widerspruch zur speziellen Relativitätstheorie vorliegt, da dieser scheinbare Ätherwind auf die Gesetzmäßigkeiten in den Inertialsystemen keinen Einfluss hat (wie beim [Michelson-Morley-Experiment](#) gezeigt wurde), und diese Bevorzugung eines Bezugssystems daher nur zur Vereinfachung der Beschreibung der Expansion des Universums erfolgt. Deswegen wird in der modernen Physik der klassische, mit einem Bewegungszustand ausgestattete Äther nicht mehr verwendet. [\[A 13\]\[A 14\]\[B 22\]\[B 23\]](#)

Alternative Theorien [\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)

Als Gegenmodell zur Relativitätstheorie wurde die von [George Gabriel Stokes](#) (1844) begründete These eines [vollständig mitgeführten Äthers](#) weiter vertreten (z. B. von [Philipp Lenard](#) und anderen). Man glaubte, damit verschiedene Effekte auf eine „anschauliche“ Weise erklären zu können. Jedoch war die Äthermitführung von Anfang an großen Schwierigkeiten ausgesetzt. Dies galt vor allem für die [Aberration](#), die eigentlich nur bei einem ruhenden Äther auftreten sollte. Um diesen Effekt zu erklären, musste angenommen werden, dass der Äther rotationsfrei und inkompressibel sei, doch beide Effekte konnten nicht miteinander vereinbar in eine Synthese überführt werden. Darüber hinaus widerspricht die vollständige Mitführung dem [Sagnac-Effekt](#) und dem [Fizeau-Experiment](#). Als Ausweg wurde vorgeschlagen, dass die Mitführung durch die Gravitation verursacht und damit proportional der Masse der Körper sei. Die dabei auftretende Kondensation des Äthers sollte die Aberration erklären, und auch das [negative Resultat von Michelson-Morley](#) (demnach führt die große Masse der Erde den Äther vollständig mit) sowie die positiven Ergebnisse von Sagnac und Fizeau (demnach führen die kleinen Massen der Apparaturen nur eine geringe Menge Äther mit sich) wurden dadurch miteinander vereinbar. Doch auch diese Hypothese

wurde durch das [Michelson-Gale-Pearson-Experiment](#) ad absurdum geführt, denn hier konnte mit Hilfe des Sagnac-Effekts die Rotation der Erde selbst bestimmt werden, was bei einer Äthermitführung nicht zu erwarten gewesen wäre – eine Erklärung hätte wiederum weitere Hypothesen erfordert usw. Eine mathematisch vollständig durchgeführte Theorie der Äthermitführung (oder überhaupt des Äthers selbst) wurde aufgrund dieser immer phantastischeren Äthereigenschaften niemals entwickelt. Folglich stellte dieses Modell niemals eine ernstzunehmende Alternative dar, da mit Hilfe der Relativitätstheorie die Experimente von Michelson-Morley, Fizeau, Sagnac, etc. vergleichsweise einfach und ohne Zusatzannahmen erklärt werden können. [\[B 24\]\[B 25\]\[C 13\]](#)

Ebenfalls aus Unzufriedenheit über das Postulat der Lichtkonstanz wandten sich einige wie [Walter Ritz](#) einer [Emissionstheorie](#) des Lichtes zu. Hiernach addiert sich die Geschwindigkeit der Lichtquelle zu der des Lichtes gemäß der [Galilei-Transformation](#), wobei das Konzept des Lichtäthers verworfen wurde. Damit konnten recht einfach die negativen Resultate der Ätherdriftexperimente wie dem Michelson-Morley-Experiment erklärt werden. Jedoch wurde diese Theorie nie vollständig ausgearbeitet, weil die Grundannahmen zu der Beobachtung widersprechenden Konsequenzen führen. So hätten bei Gültigkeit der Emissionstheorie Verzerrungen bei den beobachteten Umlaufbahnen auftreten müssen, jedoch haben Beobachtungen bei [Doppelsternen](#) keine solchen Verzerrungen aufzeigen können. Auch der Sagnac-Effekt widerspricht einer Abhängigkeit von der Lichtquelle, und bei modernen Messungen in [Teilchenbeschleunigern](#) konnte keine Quellenabhängigkeit festgestellt werden. Darüber hinaus müsste auf die bis heute äußerst erfolgreiche [maxwell-lorentzsche Elektrodynamik](#) (und ihre Weiterentwicklung als [Quantenelektrodynamik](#)) verzichtet werden. [\[A 5\]\[A 15\]\[B 26\]\[B 27\]\[C 14\]](#)

Allgemeine Relativitätstheorie [\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)

Allgemeine Kovarianz [\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)

Während Einstein noch 1916 glaubte, dass das [Machsche Prinzip](#) in der ART vollständig erfüllt sei (d. h., das Gravitationsfeld soll vollständig durch die Gravitationsquellen bestimmt sein), zeigte [Willem de Sitter](#) (1916) die Unerfüllbarkeit dieser Forderung im Rahmen der allgemeinen Relativitätstheorie. Denn das „Gravito-Inertialfeld“, welches die Gravitations- und die Trägheitseffekte beschreibt, hat auch in der allgemeinen Relativitätstheorie eine von der Quelle *unabhängige* Existenz. Einstein, der sich zuerst gegen diese Erkenntnis sträubte, akzeptierte dies schließlich, wobei er deshalb in einigen Vorträgen auch das Wort *Äther* für das Gravitationsfeld der ART verwendete (wobei dieser Ausdruck sich allerdings nicht durchsetzen konnte). Damit verbunden war auch noch eine Abkehr von der Relativität der Beschleunigung, denn wie [Erich Kretschmann](#) (1917) zeigte, folgt auch dies keineswegs automatisch aus der allgemeinen [Kovarianz](#) – denn bei entsprechendem mathematischen Aufwand könne jede Theorie (selbst die [Newtonsche Mechanik](#)) allgemein kovariant formuliert werden. Und so kann auch in der allgemeinen Relativitätstheorie aufgrund der unabhängigen Existenz des Gravito-Inertialfeldes bei zwei relativ zueinander beschleunigten Beobachtern festgestellt werden, wer von beiden sich nun „wirklich“ oder „absolut“ ungleichförmig bewegt. Jedoch betonte Einstein, dass hier die Verhältnisse keineswegs gleich sind wie in der newtonschen Physik, denn in der allgemeinen Relativitätstheorie wirkt die Quelle wiederum auf das Gravito-Inertialfeld zurück. Weiters impliziert diese „absolute“ Beschleunigung in der allgemeinen Relativitätstheorie keineswegs das Vorhandensein einer absoluten oder [substantialistischen](#) Interpretation des Raumes bzw. der Raumzeit selbst. Bei der noch immer geführten philosophischen Debatte über Raumzeit-Substantialismus (*spacetime substantialism*) und Raumzeit-[Relationismus](#) (*spacetime relationalism*) haben Physiker und Wissenschaftsphilosophen wie [John Earman](#), [John D. Norton](#) und [John Stachel](#) gewichtige Gründe für eine Annahme des Relationismus vorgebracht. [\[A 16\]\[A 17\]\[A 18\]\[A 19\]\[B 28\]\[B 29\]\[B 30\]\[B 31\]](#)

Die Bad-Nauheim-Debatte [\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)

In der „Bad-Nauheim-Debatte“ (September 1920) zwischen Einstein und [Philipp Lenard](#) auf der Versammlung der deutschen Naturforscher und Ärzte, machte letzterer folgende Einwände (wobei die veröffentlichten Schilderungen dieser Diskussion zum Teil unvollständig

sind): Er kritisierte das Fehlen von „Anschaulichkeit“ in der Relativitätstheorie, wobei dies nur durch die Annahme der Äthertheorie erreicht werden könne. Einstein erwiderte, dass die Inhalte der „Anschaulichkeit“ oder des „gesunden Menschenverstandes“ historisch gewachsen und veränderlich sind, so dass sie nicht als Kriterien für die Richtigkeit einer Theorie verwendet werden können. Weiterhin warf Lenard ein, dass Einstein den Äther in der allgemeinen Relativitätstheorie wieder eingeführt hätte. Dies wurde z. B. von [Hermann Weyl](#) zurückgewiesen, denn obwohl Einstein diesen Ausdruck tatsächlich benutzte, spielte dieser lediglich darauf an, dass die Raumzeit in der ART ebenfalls Eigenschaften hat; jedoch hat dies mit dem klassischen Äther nicht viel zu tun, da kein Bewegungszustand auf ihn angewendet werden kann. Lenard warf auch ein, dass die allgemeine Relativitätstheorie Überlichtgeschwindigkeiten zulasse. Beispielsweise würden in einem rotierenden Bezugssystem, in dem die Erde ruht, die weiter entfernten Teile des Universums mit vielfacher Lichtgeschwindigkeit um die Erde rotieren. Wie jedoch Weyl erklärte, können ausgedehnte rotierende Systeme nicht wie starre Körper aufgefasst werden (weder in der speziellen noch in der allgemeinen Relativitätstheorie) – so dass die Signalgeschwindigkeit auch hier nicht die Lichtgeschwindigkeit übersteigt. Ein anderer Einwand, der sowohl von Lenard als auch von [Gustav Mie](#) vorgetragen wurde, betrifft die Existenz von „fiktiven“ Gravitationsfeldern, welche in der allgemeinen Relativitätstheorie in beschleunigten Bezugssystemen eingeführt wurden, um die Äquivalenz mit Systemen zu sichern, in welchen reale Gravitationsfelder vorkommen. Lenard und Mie wandten ein, dass das Relativitätsprinzip nur für Kräfte gültig sein kann, welche von realen Massen erzeugt wurden, nicht jedoch für fiktive Gravitationsfelder. Einstein erwiderte, dass aufgrund des [Machschen Prinzips](#) auch die fiktiven Gravitationsfelder den realen, fernen Massen zugeschrieben werden können. Tatsächlich war dieser Einwand von Lenard und Mie jedoch berechtigt, denn das Machsche Prinzip (*siehe oben*: Abschnitt „Allgemeine Kovarianz“) und somit auch die Relativität der Beschleunigung ist in der allgemeinen Relativitätstheorie nicht vollständig erfüllt. [\[A 20\]\[C 15\]](#)

Silberstein-Einstein-Kontroverse[\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)]

[Ludwik Silberstein](#), der ursprünglich ein Anhänger der speziellen Relativitätstheorie war und wichtige Beiträge verfasste, warf 1920 ein, dass die Ablenkung des Lichts durch die Sonne, wie sie von [Arthur Eddington](#) et al. (1919) festgestellt wurde, nicht notwendigerweise eine Bestätigung der allgemeinen Relativitätstheorie darstellt, sondern auch mit Hilfe eines vollständig von der Sonne mitgeführten Äthers erklärt werden könne. Solche Theorien wurde jedoch abgelehnt, da sie der Existenz der Aberration des Lichts widersprechen (*siehe*: Kapitel „Alternative Theorien“). Und 1935 glaubte Silberstein, einen Widerspruch im Zweikörperproblem der allgemeinen Relativitätstheorie gefunden zu haben, was jedoch umgehend von Einstein und Rosen zurückgewiesen wurde. [\[A 21\]\[B 32\]\[C 16\]](#)

Philosophische Kritik[\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)]

Der Anspruch der Relativitätstheorie, die herkömmlichen Begriffe von Raum und Zeit revolutioniert zu haben, sowie die Einführung einer nichteuklidischen Geometrie im Rahmen der allgemeinen Relativitätstheorie, stieß bei vielen Philosophen unterschiedlicher Schulen auf Kritik. Kennzeichnend für viele philosophische Kritiken war jedoch eine ungenügende Kenntnis der mathematisch-formalen Grundlagen und Aussagen der Relativitätstheorie, wodurch diese oft am Kern der Sache vorbeigingen. So wurde von philosophischer als auch populärwissenschaftlicher Seite die Relativitätstheorie (oft alleine wegen der Namensähnlichkeit) als eine Form von [Relativismus](#) missverstanden – was sowohl für viele Kritiker als auch für einige Anhänger wie dem [Phänomenalisten Joseph Petzoldt](#) galt. Dies ist jedoch irreführend, denn wie z. B. Einstein, Planck, und andere zeigten, werden zwar Raum und Zeit relativiert und die Gleichberechtigung der Bezugssysteme angestrebt, aber dafür wird die Unveränderlichkeit ([Invarianz](#)) bestimmter Naturgesetze und der Lichtgeschwindigkeit postuliert. So bevorzugte Einstein selbst ursprünglich den von [Felix Klein](#) (1910) verwendeten Begriff „Invariantentheorie“, und stand dem von Planck (1906) geprägten Ausdruck „Relativ(itäts)theorie“ vorerst skeptisch gegenüber. [\[A 22\]\[B 33\]\[B 34\]\[B 35\]](#)

Kantianismus, Phänomenologie[\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)

Kritische Stellungnahmen zur Relativitätstheorie wurden aus den Reihen des [Neukantianismus](#) von Philosophen wie [Paul Natorp](#), [Bruno Bauch](#), [Ernst Marcus](#), [Salomo Friedlaender](#), [Jonas Cohn](#), [Lenore Kühn](#) abgegeben. Während einige nur die philosophischen Konsequenzen der Relativitätstheorie ablehnten, schlossen andere daraus auch auf die Falschheit der physikalischen Theorie selbst. Einstein wurde ein „[Kategorialirrtum](#)“ vorgeworfen: die Ableitung der Raumkrümmung aus Materie- und Energiephänomenen sei nicht möglich, da diese bereits den Raum als eine bloße Anschauungskategorie (im Sinne [Immanuel Kants](#)) zur Voraussetzung hätten. Ähnliches gelte für das Verhältnis von absolut und relativ – die Relativierung von Raum und Zeit könne nur vor dem Hintergrund einer absoluten Zeit und eines absoluten Raumes durchgeführt werden. Ähnliche Argumente wie die der Neukantianer kamen von Vertretern der [Phänomenologie](#) wie [Oskar Becker](#), [Paul F. Linke](#), oder [Moritz Geiger](#). Zu den vorgetragenen Einwänden zählten: die [Dreidimensionalität](#) des Raumes sei nicht außerkraftsetzbar; die Relativität der Gleichzeitigkeit widerspreche einem für unseren Weltzugang konstitutiven ideellen Zeitbegriff.^{[C 17][C 18][C 19]}

[Klaus Hentschel](#) bezeichnet die Vorgehensweise von Neukantianern und Phänomenologen (nämlich die Verschiebung von Raum, Zeit, Geometrie usw. in einen empirisch unüberprüfbar Bereich) als „Immunsierungsstrategie“, mit der jegliche Kritik am [Kantianismus](#) von vornherein abgeblockt werde. Überdies hätten die Neukantianer übersehen, dass auch die Philosophie Kants durchaus als ein Produkt ihrer Zeit angesehen werden kann – nämlich als basierend auf dem im 18. Jhd. vorherrschenden newtonschen Weltsystem, dessen Grundlagen von Kant zu [a priori](#) notwendigen Voraussetzungen der Erfahrung gemacht worden seien. Deshalb betonten neukantianische *Anhänger* der Relativitätstheorie wie [Ernst Cassirer](#) oder [Hans Reichenbach](#), dass der Inhalt des von Kant festgesetzten „a-priorischen Wissens“ (Absolutheit von Raum und Zeit, euklidische Geometrie) nicht mehr aufrechtzuerhalten sei und durch die Erkenntnisse der Relativitätstheorie modifiziert werden müsse. Reichenbach zog in weiterer Folge überhaupt den Schluss, dass der Kantianismus zu verwerfen sei und wandte sich dem [Logischen Empirismus](#) zu.^{[A 23][B 36][B 37]}

Konventionalismus, Protophysik[\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)

Was die Kritiken von Vertretern des [Konventionalismus](#) betrifft, war [Henri Poincaré](#) als Begründer dieser Denkrichtung ein wichtiger Vorläufer der Relativitätstheorie. So war er der Ansicht, dass die Gleichzeitigkeit von Ereignissen an verschiedenen Orten lediglich eine durch Übereinkunft beschlossene Konvention sei; er formulierte das Relativitätsprinzip und gab eine Methode zur Uhrensynchronisation auf Basis der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit an. Andererseits betonte er immer wieder, dass sowohl die euklidische Geometrie als auch die klassischen Definitionen von Raum und Zeit immer die bequemsten Konventionen im Rahmen der Physik bleiben würden. Diesen letzten Gedankengang aufgreifend, findet sich bei [Pierre Duhem](#) und vor allem [Hugo Dingler](#) eine ausgeprägte Kritik der Relativitätstheorie. Dingler bestand auf der Bevorzugung der euklidischen Geometrie und des Konzepts starrer Körper, welche seiner Ansicht nach [operational](#) begründbar seien, sowie des newtonschen Gravitationsgesetzes als Musterbeispiel einer einfachen Theorie. Im Gegensatz zu Poincaré war Dingler allerdings der Meinung, dass diese Festsetzungen nicht nur aus Gründen der Bequemlichkeit erfolgt, sondern auf tatsächlich in der Wirklichkeit existierende Gegebenheiten beruhe. Dinglers Interpretation wurde sogleich von Vertretern des [Logischen Empirismus](#) wie [Rudolf Carnap](#), Reichenbach und [Moritz Schlick](#) zurückgewiesen. So wurde argumentiert, dass Poincarés ursprünglicher Konventionalismus durchaus im Sinne der Relativitätstheorie modifizierbar sei, wenn man diesem Modell eine stärkere empiristische Komponente beigibt. Es sei zwar richtig, dass die Grundlagen der newtonschen Physik einfacher sind, jedoch könnten diese nur durch zusätzliche Hilfsannahmen an die empirischen Ergebnisse angepasst werden. Im Gegensatz dazu sind die Grundannahmen der allgemeinen Relativitätstheorie zwar komplizierter, jedoch können hier alle Phänomene ohne Hilfsannahmen erklärt werden, wodurch die Theorie in ihrer Gesamtheit sogar einfacher als die Newtonsche Physik sei.^{[A 24][A 25][B 38][B 39][C 20]}

Auf Basis einiger Grundannahmen Dinglers wurde (und wird) vor allem von [Paul Lorenzen](#) (1976), [Peter Janich](#), und [Rüdiger Inhetveen](#) die sogenannte [Protophysik](#) im Rahmen des [Konstruktivismus](#) vertreten. Lorenzen bestreitet dabei zwar nicht die empirischen Voraussagen der Relativitätstheorie, jedoch deren Interpretation, wobei seine eigenen Ansichten denen von Lorentz ähneln. Das heißt, die [Lorentzkontraktion](#) wird als Kontraktion der Gegenstände und nicht als Kontraktion der geometrischen Maßstäbe angesehen, und die Zeitdilatation sei lediglich als Prozessdilatation zu verstehen. Lorenzen bestreitet auch, dass die Konsequenz der Allgemeinen Relativitätstheorie eine tatsächliche Krümmung des Raumes sei, sondern dies sei nur eine mathematische Beschreibung. Wie im Abschnitt [Äther und absoluter Raum](#) bereits erklärt, werden solche „lorentzianische“ Interpretationen der Relativitätstheorie – aufgrund der dabei anzunehmenden Konspiration verschiedener Effekte, welche den wahren Charakter von Raum, Zeit, Geometrie usw. verdecken sollen – von der physikalischen Fachwissenschaft nicht ernst genommen. ^[C 21]

Weitere philosophische Kritiken[\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)

Einige Vertreter der [Lebensphilosophie](#), des [Vitalismus](#) und des [Kritischen Realismus](#) (wie z. B. [Henri Bergson](#) und [Aloys Wenzl](#)) argumentierten, dass es einen wesentlichen Unterschied zwischen der physikalischen und [biologisch-psychologischen](#) Zeit gäbe. Die Zeitdilatation und somit das Zwillingsparadoxon könne deshalb nicht auf biologische Organismen und psychische Phänomene ausgeweitet werden. (Diese Einschätzung teilten jedoch nicht alle Vertreter dieser Richtungen; so beurteilte z. B. der kritische Realist [Bernhard Bavink](#) die Relativitätstheorie durchaus positiv). Bergson glaubte darüber hinaus, dass wenn ein Bezugssystem einmal zur Beschreibung der Phänomene ausgesucht worden sei, würden die dort ermittelten Werte „absolut“ gelten, während alle anderen nur „fiktiv“ seien. Im Gegensatz zur Meinung Bergsons gibt es aus Sicht der speziellen Relativitätstheorie (wie z. B. [André Metz](#) zeigte) allerdings keinen Grund, die Zeitdilatation nicht auch auf Organismen auszudehnen, und beim Zwillingsparadoxon habe Bergson zusätzlich die asymmetrische Beschleunigung übersehen. ^{[A 26][C 22][B 40]}

Kritiken, welche dem [Fiktionalismus](#) zuzuordnen sind, wurden z. B. von [Oskar Kraus](#) oder [Aloys Müller](#) entwickelt. Die grundlegenden Annahmen zur Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Ortszeit, Längenkontraktion, oder der nichteuklidischen Geometrie dürften nur fiktive Geltung haben. Zusammengenommen würden sie zwar den mathematischen Schein der Widerspruchsfreiheit ergeben, tatsächlich komme ihnen aber keine Realität zu. Auch seien Raum und Zeit wesensverschieden und könnten nicht zu einer [Raumzeit](#) vereinigt werden. Der fiktionalistische Ansatz wurde sogleich von [Aloys Wenzl](#) und anderen kritisiert. Viele Aussagen der Relativitätstheorie wie das Äquivalenzprinzip sind empirisch bestens bestätigt, und die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit sowie die relativistischen Effekte sind keineswegs widersprüchlich, sondern komplementär zueinander. ^{[A 27][C 23][A 28]}

Philosophische Kritik wurde (hauptsächlich in den 1920ern) auch in der [Sowjetunion](#) auf Basis des [dialektischen Materialismus](#) geübt. Die Relativitätstheorie wurde als antimaterialistisch und spekulativ eingestuft, und als Alternative wurde eine dem „gesunden Menschenverstand“ entsprechende mechanische Weltanschauung gefordert. (Es gab allerdings auch Philosophen, die den dialektischen Materialismus als vereinbar mit der Relativitätstheorie ansahen.) Diese Angriffe beruhten jedoch häufig auf einem oberflächlichen Verständnis der Relativitätstheorie, und wurden von den Experten auf dem Gebiet als fehlerhaft und nicht ernstzunehmend zurückgewiesen. Ebenso auf Basis des dialektischen Materialismus wurde in der [Volksrepublik China](#) in der Zeit der [Kulturrevolution](#) (zwischen 1966 und 1976) die Relativitätstheorie einer organisierten Kritik unterworfen und als zu „westlich“ und „idealistisch-relativistisch“ abgelehnt. ^{[A 29][A 30]}

Relativitätsrummel und öffentliche Kritik [\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)

Obwohl Planck die Umwälzung durch die Relativitätstheorie bereits 1909 mit der [Kopernikanischen Wende](#) verglich, und sich die spezielle Relativitätstheorie ab 1911 unter theoretischen Physikern durchzusetzen begann bzw. sich schon durchgesetzt hatte, führten erst die experimentellen Befunde einer Gruppe um [Arthur Stanley Eddington](#) (1919) zu einem weltweiten Siegeszug der Relativitätstheorie. Dabei wurde Einstein in den Massenmedien auch öffentlich in eine Reihe mit [Nikolaus Kopernikus](#), [Johannes Kepler](#) und [Isaac Newton](#) gestellt und als Revolutionär der Physik gefeiert. Dieser Ruhm führte zu einem öffentlichen „Relativitätsrummel“, aber löste auch in der kulturpessimistischen Stimmung der damaligen Nachkriegszeit eine Gegenreaktion einiger Wissenschaftler und wissenschaftlicher Laien aus. Diese Auseinandersetzung wurde (untypisch für wissenschaftliche Diskussionen) zum Teil auch über die Massenmedien geführt, wobei die Kritik sich nicht nur auf die Relativitätstheorie, sondern auch auf Einstein persönlich bezog. ^{[A 31][A 32]}

Akademische und außerakademische Kritik [\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)

Einige akademische Wissenschaftler, insbesondere Experimentalphysiker, wie die Nobelpreisträger [Philipp Lenard](#) und [Johannes Stark](#), sowie [Ernst Gehrcke](#), [Stjepan Mohorovičić](#), oder [Rudolf Tomaschek](#) kritisierten die starke Mathematisierung der Relativitätstheorie, insbesondere durch Minkowski, als eine Tendenz zu abstrakter [Theoriebildung](#), die einhergeht mit dem Verlust des „gesunden Menschenverstandes“. Hier wähten antirelativistische Experimentalphysiker ihre Disziplin in Gefahr. Tatsächlich markiert die Relativitätstheorie wissenschaftshistorisch den Punkt, an dem die Anschauung als Mittel zum physikalischen Verständnis von Naturphänomenen zum ersten Mal grundsätzlich versagte. Im Gegensatz dazu versuchten wie oben geschildert Lenard, Gehrcke, Mohorovičić usw. die alte Idee eines vollständig mitgeführten Äthers wiederzubeleben. Jedoch bildeten diese meist nur qualitativ vorliegenden Theorien nie eine ernsthafte Konkurrenz für die modernen, auf Relativitäts- und Quantentheorie basierenden Modelle. Die Meinungen prallten aufeinander, als bei der Naturforschertagung in [Bad Nauheim](#) am 23. September 1920 ein Streitgespräch zwischen Einstein und Lenard stattfand, das in der Öffentlichkeit erhebliches Aufsehen erregte (siehe oben). ^{[A 28][A 31][C 13][C 24][C 25]}

Daneben traten vor allem Kritiker auf (mit oder ohne physikalische Ausbildung), die sehr weit von den Inhalten der anerkannten akademischen Welt entfernt waren. Dabei handelte es sich meist um Personen, welche bereits vor der Veröffentlichung der Relativitätstheorie eigene Modelle entwickelt hatten, die auf eine einfache Weise einige oder gar alle Rätsel der Welt lösen sollten. Wazeck führte für diese „freien Forscher“ wie [Hermann Fricke](#), Rudolf Mewes, Johann Heinrich Ziegler, Arthur Patschke usw. mit Bezug auf [Ernst Haeckels](#) „[Die Welträthsel](#)“ den Begriff „Welträtsellöser“ ein. Deren Ansichten und Modelle hatten ihre recht unterschiedlichen Wurzeln meist im [Monismus](#), [Lebensreform](#) oder [Okkultismus](#). Ihre Methoden waren dadurch gekennzeichnet, dass sie praktisch die gesamte Terminologie als auch die (vorwiegend mathematischen) Methoden der Fachwelt ablehnten. Ihre Arbeiten veröffentlichten sie meist in privaten Verlagen, sowie populärwissenschaftlichen oder fachfremden Zeitschriften. Für viele Welträtsellöser (besonders die Monisten) war der Versuch bezeichnend, möglichst alle Phänomene durch anschauliche mechanische (oder elektrische) Modelle zu erklären, was auch in ihrer Verteidigung des Äthers Ausdruck fand. Wie einige Experimentalphysiker lehnten sie folglich die Unanschaulichkeit der Relativitätstheorie ab, welche als spitzfindige Rechnerei eingeschätzt wurde, die die wahren Ursachen hinter den Dingen nicht aufdecken könne. Als Beispiel sei die damals im außerakademischen Umfeld weit verbreitete [Drucktheorie der Gravitation](#) genannt. Hier bildete sich in Breslau ab 1870 ein Verein, der das u. a. von Anderssohn (1880) und später auch von Patschke (1920) vertretene Modell propagierte, wonach die Schwerkraft durch den Ätherdruck bzw. den „Massendruck aus der Ferne“ verursacht wird. Hingegen wurden die auch in der Fachwelt diskutierten Drucktheorien von [Georges-Louis Le Sage](#) oder [Caspar Isenkrahe](#) von den Welträtsellösern nur sporadisch erwähnt. Die Drucktheorie wurde dabei als eine anschauliche Alternative zu den abstrakt-mathematischen Gravitationstheorien von

Newton und Einstein angesehen. Dabei ist das enorme Selbstvertrauen der Welträtsellöser bemerkenswert, welche nicht nur glaubten alle Rätsel gelöst zu haben, sondern auch die Erwartung hatten, sich in der Fachwelt schnell durchzusetzen, was allerdings nicht in Erfüllung ging. [\[A 32\]\[C 26\]\[C 27\]\[C 28\]\[C 29\]](#)

Da Einstein sich selten gegenüber den Kritikern verteidigte, wurde dies von anderen Relativitätstheoretikern übernommen, welche (nach Hentschel) eine Art „Verteidigergürtel“ um Einstein bildeten. Wichtige Vertreter waren auf physikalischer Ebene z. B. Laue und Born, und auf philosophisch-populärwissenschaftlicher Ebene z. B. [André Metz](#) und besonders Reichenbach, welche sich in den 20ern auch häufig in verschiedenen Zeitungsartikeln mit den Kritikern auseinandersetzten. Jedoch scheiterten diese Diskussionen meist im Ansatz. Physiker wie Gehrcke, einige Philosophen, und die Welträtsellöser waren dermaßen von ihren eigenen Ideen überzeugt, dass sie oft nicht in der Lage waren, sich in die Gedankenwelt der Relativitätstheorie hineinzusetzen. Es wurden deswegen oft Zerrbilder der Theorie entworfen (allerdings unterstützt durch irreführende populärwissenschaftliche Darstellungen einiger Anhänger der Relativitätstheorie), welche dann von den Kritikern „widerlegt“ wurden. Eine andere Ursache bestand natürlich auch darin, dass eine gehaltvolle Kritik an den mangelnden mathematischen Fähigkeiten vieler Kritiker scheiterte. Während die Welträtsellöser von vornherein von der Fachwelt nicht ernst genommen wurden, wurden selbst bedeutende Physiker wie Lenard und Gehrcke in eine immer größer werdende Außenseiterrolle gedrängt. Sie gingen jedoch nicht davon aus, dass dies aufgrund der Mängel in ihren Arbeiten geschah, sondern es wurden diverse [Verschwörungstheorien](#) entwickelt, wonach sich die relativistischen Physiker (in den 20-30ern vermehrt auch die [Juden](#)) verbündet hätten um die Wahrheit zu unterdrücken, und um ihre eigenen Positionen im akademischen Betrieb aufrechterhalten zu können. Gehrcke z. B. schrieb die Ausbreitung und Wirkung der Relativitätstheorie 1920-24 einer Art Massen[suggestion](#) zu, wozu er von einem [Ausschnittendienst](#) ca. 5000 Zeitungsartikel (davon 2700 erhalten) zu diesem Thema sammeln ließ. Dem wurde jedoch entgegengehalten, dass die bloße Existenz des Relativitätsrummels überhaupt keine Bedeutung für die Gültigkeit der Theorie habe, und folglich nicht für, aber auch nicht gegen die Relativitätstheorie verwendet werden kann. [\[A 28\]\[A 32\]\[C 30\]](#)

Einige Kritiker versuchten nun, durch die Bildung von Kritiker-Vereinigungen ihre Position gegenüber der Fachwelt zu verbessern. Die wohl bedeutendste war die „Academy of Nations“, welche 1921 in den USA von Robert T. Browne und Reuter Dahl gegründet wurde, und der bald auch [Thomas Jefferson Jackson See](#), Gehrcke, Mohorovičić und andere angehörten. Jedoch löste sich die Vereinigung ohne große Wirkung erzielt zu haben, wenige Jahre später um 1930 wieder auf. [\[A 32\]\[C 31\]](#)

Chauvinismus und Antisemitismus[\[Bearbeiten | Quelltext bearbeiten\]](#)

Kurz vor und während des Ersten Weltkriegs kam es vor allem in Frankreich vereinzelt zu nationalistisch motivierten Kritiken an der Relativitätstheorie. So wurde sowohl die Quantentheorie Plancks als auch die Relativitätstheorie Einsteins von [Pierre Duhem](#) und anderen als Produkte des zu „formal-abstrakten“ deutschen Geistes und als ein Angriff auf den gesunden Menschenverstand eingestuft. Analog dazu müssen hier auch die zum Teil organisierten öffentlichen Kritiken in der Sowjetunion und China angeführt werden, welche die Relativitätstheorie nicht aus sachlichen Gründen, sondern ideologisch motiviert als „westlich-dekadent“ verwarfen. [\[A 28\]\[A 29\]\[A 30\]](#)

Während für diese Kritiker also die Deutschen oder der Westen als Feindbild dienten, war es in Deutschland umgekehrt die jüdische Herkunft Einsteins, [Hermann Minkowskis](#) und anderer Vertreter der Relativitätstheorie, welche als Zielscheibe für [völkisch](#) gesinnte Gegner diente. [Paul Weyland](#), der sich in den 1920ern als [Antisemit](#) und nationalistischer Agitator betätigte, veranstaltete 1919 in [Berlin](#) erste öffentliche Veranstaltungen, die gegen die Relativitätstheorie Stellung bezogen, und gründete eine „Arbeitsgemeinschaft deutscher Naturforscher zur Erhaltung reiner Wissenschaft“, wobei Weyland selbst möglicherweise das einzige Mitglied war. Während von Weyland in den veröffentlichten Texten antisemitische Aussagen noch vermieden wurden, war es für viele bereits klar, dass Antisemitismus eine Rolle spielte (wie einige Briefe von Lenard ab 1920 zeigten). Auf diese unterschwelligsten Stimmungen reagierend vermutete Einstein öffentlich, dass die Kritiken von Weyland,

Gehrcke und anderen auch antisemitisch motiviert gewesen seien. Einige Kritiker reagierten entrüstet auf Einsteins Vorwurf und stellten die Beschuldigung auf, dass solche Antisemitismuskritiken nur getätigt werden, um die Kritiker zum Schweigen zu bringen. Jedoch wurden von nun an sehr wohl auch öffentlich antisemitische Aussagen gegenüber Einstein und den Vertretern der Relativitätstheorie bzw. der modernen Physik getätigt (selbstverständlich gilt dies keineswegs für alle Kritiker der Relativitätstheorie).

[Theodor Fritsch](#) (1921) betonte bei seiner Kritik die angeblich negativen Auswirkungen des jüdischen Geistes in der Relativitätstheorie, und die rechtsradikale Presse führte diese Hetze ungehemmt weiter. Nach dem Mord an [Walther Rathenau](#) und Morddrohungen an Einstein verließ dieser sogar für einige Zeit Berlin. Gehrckes Buch „*Die Massensuggestion der Relativitätstheorie*“ (1924) war selbst zwar nicht antisemitisch, jedoch wurden die darin enthaltenen Thesen von der rechten Presse als Darstellung eines angeblich typisch-jüdischen Verhaltens gepriesen. 1922 sprach Lenard vom „Fremdgeist“ als Hintergrund der Relativitätstheorie, wobei er selbst 1924, und Stark 1930 in die [NSDAP](#) eintraten. Beide propagierten dabei die sogenannte [Deutsche Physik](#), welche nur solche wissenschaftlichen Erkenntnisse akzeptierte, die auf Experimenten beruhen und den [Sinnen](#) zugänglich sind. Diese Physik sei nach Lenard (1936) eine „arische Physik oder Physik der nordisch gearteten Menschen“, im Gegensatz zur angeblich formal-dogmatischen „jüdischen Physik“. Weitere ausgesprochen antisemitische Kritiken finden sich u. a. bei [Wilhelm Müller](#), [Bruno Thüring](#) und einigen Welträtsellösern wie Reuterdahl, Ziegler und Mewes. So verstieg sich Müller in Phantasien wie die Relativitätstheorie sei eine rein „jüdische Angelegenheit“, sie entspräche dem „jüdischen Wesen“ etc., während Thüring unter anderem absurde Vergleiche zwischen dem [Talmud](#) und der Relativitätstheorie anstellte. [\[A 33\]\[A 34\]\[A 28\]\[A 31\]\[A 35\]\[A 32\]\[B 41\]\[C 32\]\[C 33\]\[C 34\]](#)

Plagiatsvorwürfe bzw. Prioritätsdiskussionen [\[Bearbeiten | Quelltext bearbeiten\]](#)

Von Kritikern wie Lenard, Gehrcke, Reuterdahl wurde Einstein auch als Plagiator bezeichnet, oder es wurde zumindest dessen Priorität hinterfragt. Dies hatte einerseits den Zweck, die Möglichkeit von nicht-relativistischen Alternativen zur modernen Physik aufzuzeigen, und andererseits sollte Einstein selbst diskreditiert werden. Dabei zeigte sich jedoch, dass sowohl Herleitung als auch der physikalische Gehalt der Relativitätstheorie sich von den Vorgängermodellen fundamental unterscheiden, was die Unhaltbarkeit dieser Vorwürfe aufzeigte. Einige Beispiele: [\[B 42\]\[B 43\]\[C 35\]\[C 36\]](#)

- [Johann Georg von Soldner](#) (1801) wurde wegen seiner Berechnungen der [Lichtablenkung](#) durch Himmelskörper genannt, jedoch basierte seine Theorie auf der newtonschen [Korpuskeltheorie](#) und hatte keine Gemeinsamkeit mit der Herleitung Einsteins im Rahmen der allgemeinen Relativitätstheorie.
- Das Gleiche gilt für [Paul Gerber](#) (1898), der eine Formel für die [Periheldrehung](#) des Merkur ableitete, die mit der von Einstein übereinstimmt. Gerbers Theorie ist jedoch eine rein klassische Theorie ohne Zusammenhang mit den Grundaussagen der Relativitätstheorie. Überdies ist sie bereits widerlegt, da sie eine zu große Ablenkung der Lichtstrahlen im Gravitationsfeld voraussagt, und selbst Gerbers Voraussage zur Periheldrehung führt aus moderner Sicht zu einem falschen Wert, wenn die relativistische Masse berücksichtigt wird.
- [Woldemar Voigt](#) (1887) erstellte mit der [Voigt-Transformation](#) eine Vorform der Lorentz-Transformation. Diese basierte allerdings, wie Voigt später selbst betonte, auf einer elastischen Lichtäthertheorie und nicht auf der elektromagnetischen Lichttheorie, wie sie von Lorentz und Einstein benutzt wurde. Gemeinsam ist beiden Lichttheorien jedoch, dass ihnen partielle Differentialgleichungen zugrunde liegen, die als harmonische Lösungen ausschließlich [Transversalwellen](#) zulassen (also keine [Longitudinalwellen](#)).
- [Friedrich Hasenöhrl](#) (1904) wendete die bereits lange vor ihm bekannten Konzepte von elektromagnetischer Masse und Impuls (d. h., elektromagnetische Energie trägt zur Masse eines Körpers bei) auf Hohlraum- und Wärmestrahlung an. Einsteins [Äquivalenz von Masse und Energie](#) geht jedoch viel weiter, da sie aus dem Relativitätsprinzip abgeleitet ist und jede Form von Energie (nicht nur elektromagnetische) umfasst.

- Der Philosoph [Menyhért Palágyi](#) entwickelte 1901 eine „Raumzeitlehre“ mit einer imaginären Zeitkoordinate als vierter Dimension. Doch hatte Palágyis Philosophie inhaltlich keine Übereinstimmung mit der Relativitätstheorie, denn sie stellte (wie Palágyi selbst betonte) eigentlich nur eine Neuformulierung der klassischen Zusammenhänge dar.
- Dazu kamen noch die Vorwürfe der Welträtsellöser wie Reuderahl, Mewes, Ziegler usw. hinzu, welche selbst bei nur verbaler Übereinstimmung mancher Textpassagen ihrer Werke mit denen Einsteins ein Plagiat zu erkennen glaubten. So wurden von den Welträtsellösern einerseits Plagiatsvorwürfe erhoben, und andererseits Fundamentalkritik an der Relativitätstheorie geübt. Um diese widersprüchliche Vorgehensweise zu begründen, wurde angenommen, dass Einstein verschiedene Inhalte gestohlen, diese nicht verstanden und folglich zu der „unlogischen“ Theorie der Relativitätstheorie zusammengefügt hätte. Dabei wurden Verschwörungstheorien entwickelt, die erklären sollten, wie Einstein überhaupt an die oft nicht leicht zugänglichen Werke der Welträtsellöser herangekommen ist, bzw. warum dies von der Fachwelt toleriert wurde.

Im Gegensatz zu diesen haltlosen Vorwürfen wird von modernen Wissenschaftshistorikern gelegentlich der Frage nachgegangen, ob Einstein möglicherweise von Poincaré beeinflusst wurde, der ähnliche Interpretationen der lorentzischen Elektrodynamik vorschlug, die auch in der speziellen Relativitätstheorie zu finden sind. [\[A 28\]\[A 32\]\[A 36\]\[A 37\]](#)

Hundert Autoren gegen Einstein [\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)

Eine Zusammenstellung verschiedener Kritiken bildet die 1931 herausgegebene [Broschüre](#) „*Hundert Autoren gegen Einstein*“. Sie enthält sehr kurz gefasste Arbeiten von 28 Autoren und [Exzerpte](#) von Publikationen weiterer 19 Autoren. Der Rest besteht aus einer Liste, wobei auch Personen darunter sind, welche nur zeitweise kritische Einwände gegen die Relativitätstheorie äußerten. Neben philosophischen Einwänden wurden in diesem Band auch angebliche Widersprüche der Relativitätstheorie angeführt. Reichenbach beschrieb das Buch als eine „erstaunliche Anhäufung naiver Fehler“, und als „unbeabsichtigt komisch“. [Albert von Brunn](#) bezeichnete den Inhalt als einen Rückfall ins 16. und 17. Jhd., und Einstein selbst meinte: „*Hätte ich unrecht, würde ein einziger Autor genügen, um mich zu widerlegen.*“ Für [Hubert Goenner](#) stellen die Beiträge eine Mischung aus mathematisch-physikalischer Inkompetenz, [Hybris](#), und dem Gefühl dar, von den Physikern unterdrückt und zensiert zu werden. Die Zusammenstellung der Autoren zeigt nach Goenner, dass es sich hier nicht um eine Reaktion innerhalb der Physikergemeinschaft – lediglich ein Physiker ([Karl Strehl](#)) und drei Mathematiker ([Jean-Marie Le Roux](#), [Emanuel Lasker](#) und [Hjalmar Mellin](#)) waren vertreten – sondern um eine inadäquate Reaktion des akademisch gebildeten Bürgertums handelt, welches mit der Relativitätstheorie nichts anzufangen wusste. Bezeichnend ist auch der Altersdurchschnitt der Autoren: 57 % waren deutlich älter als Einstein, ein Drittel ungefähr im gleichen Alter, und nur zwei Personen waren deutlich jünger. Zwei Autoren (Reuterahl, von Mitis) waren Antisemiten und vier weitere waren möglicherweise mit der Nazibewegung verstrickt. Andererseits waren einige Autoren ([Salomo Friedländer](#), Ludwig Goldschmidt, Hans Israel, Lasker, [Oskar Kraus](#), [Menyhért Palágyi](#)) jüdischer Herkunft. [\[A 38\]\[C 37\]](#)

Status der Kritik [\[Bearbeiten\]](#) | [Quelltext bearbeiten](#)

Siehe auch: [Tests der speziellen Relativitätstheorie](#) und [Tests der allgemeinen Relativitätstheorie](#)

Gegner der Relativitätstheorie finden von Zeit zu Zeit unter Schlagzeilen wie „Einstein widerlegt“ Resonanz in der Presse. Meist handelt es sich dabei um Experimentalaufbauten oder Gedankenexperimente, die sich keineswegs mit der Relativitätstheorie befassen, sondern nur Bestandteile ihrer bildhaft konkretisierenden populärwissenschaftlichen Auslegungen „widerlegen“. Aufgrund der beim [Peer-Review](#) festgestellten mangelnden wissenschaftlichen Qualität werden kritische Arbeiten nur in Ausnahmefällen von [Fachzeitschriften](#) angenommen und stattdessen in Privatverlagen, alternativen Zeitschriften (wie [Raum & Zeit](#), Apeiron, Galilean Electrodynamics) oder privaten Internetseiten veröffentlicht. Neben dem Unverständnis

der Antirelativisten ist die große Anzahl an experimentellen Erfolgen und Bestätigungen der Relativitätstheorie der ausschlaggebende Grund, warum in der [Wissenschaftsgemeinde](#) die Kritik nicht mehr ernst genommen wird. Beispiele für solche von der Fachwelt abgelehnte Kritiken sind [Louis Essen](#) (1971), [Walter Theimer](#) (1977) oder Galeczki/Marquardt (1997). Die Kritiken spielen somit in der aktuellen wissenschaftlichen Forschung keine Rolle mehr und werden gewöhnlich nur noch in historisch-philosophischen Studien erwähnt. [\[A 1\]\[A 28\]\[A 31\]\[A 32\]\[C 38\]\[C 39\]\[C 40\]\[C 41\]\[C 42\]](#)

Der technologische Fortschritt führt zu immer genaueren Möglichkeiten, die Relativitätstheorie zu überprüfen. Bislang hat sie alle diese Tests unbeschadet überstanden. Darüber hinaus wird auch auf theoretischem Gebiet weiter geforscht. So wird versucht, die [Quantenphysik](#) mit der Allgemeinen Relativitätstheorie zu einer Theorie der [Quantengravitation](#) zu vereinigen. Die derzeit aussichtsreichsten Modelle dazu sind die [Stringtheorie](#) und die [Schleifenquantengravitation](#). Beide Theorien haben zwar eine relativistische Grundlage, jedoch wären kleine Abweichungen von den Voraussagen der Relativitätstheorie, wie Verletzungen der Lorentzinvarianz, möglich. Bislang konnten solche Abweichungen jedoch experimentell nicht nachgewiesen werden. [\[B 44\]\[B 45\]\[B 46\]](#)

Literatur[\[Bearbeiten | Quelltext bearbeiten\]](#)
